



DEUTSCHES  
PATENTAMT

②① Aktenzeichen: P 35 36 272.3  
②② Anmeldetag: 11. 10. 85  
④③ Offenlegungstag: 16. 4. 87

Patentsigntum

DE 3536272 A1

⑦① Anmelder:

Messerschmitt-Bölkow-Blohm GmbH, 8012  
Ottobrunn, DE

⑦② Erfinder:

Drachenberg, Franz, Ing.(grad.), 8011 Baldham, DE;  
Oefner, Walter, Dipl.-Ing., 8156 Otterfing, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zum Herstellen eines Faserverbundlaminat-Formteils

Um bei der Herstellung von flächiggestreckten Faserverbund-Laminatformteilen örtliche Durchtränkungsfehler und Lunkerbildungen zu verhindern, wird erfindungsgemäß die Durchträngung der Faserschichtung in der Weise durchgeführt, daß ein Gelege aus einer entsprechend der Kontur des Formteils vorgeformten, im zähelastischen Zustand befindlichen Harzschicht und aus undurchtränkten, die Harzschicht auf der Oberfläche bedeckenden Verstärkungsfasern in ein Formwerkzeug eingeschlossen und für eine von der Laminatdicke abhängige Zeitdauer mit einem eine Entlüftung bewirkenden Vorverdichtungsdruck beaufschlagt und gleichzeitig die Harzschicht durch Erwärmung in den dünnflüssigen Zustand versetzt.

DE 3536272 A1

1. Verfahren zum Herstellen eines aus einer Kunststoff-, vorzugsweise Harzmatrix und Verstärkungsfasern bestehenden Faserverbundlaminat-Formteils, bei dem die Verstärkungsfasern und die Kunststoffmatrix gemeinsam in ein Form- und Preßwerkzeug eingeschlossen und unter Druck- und Wärmeeinwirkung in die endgültige Laminatstruktur gebracht werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß in das Formwerkzeug ein Gelege aus einer im formhaltigen Zustand gehaltenen, entsprechend der Kontur des Formteils vorgeformten Kunststoffschicht und aus undurchtränkten, die Kunststoffschicht auf der Oberfläche bedeckenden Verstärkungsfasern eingeschlossen wird und die Verstärkungsfasern dadurch kunststoffdurchtränkt werden, daß für eine von der Laminatdicke abhängige Zeitdauer das Gelege im Formwerkzeug mit einem eine Entlüftung bewirkenden Vorverdichtungsdruck beaufschlagt und gleichzeitig die Kunststoffschicht durch Erwärmung in den dünnflüssigen Zustand versetzt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für Lamine mit ungleichförmigem Wandstärkenverlauf die Kunststoffschicht mit einer sich entsprechend der örtlichen Laminat-Wandstärke ändernden Schichtdicke in das Formwerkzeug eingebracht wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Kunststoffschicht außerhalb des Formwerkzeugs vorgeformt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Gelege als gesondert vorgefertigter, aus Kunststoffschicht und undurchtränkten Verstärkungsfasern gebildeter Vorformling in das Formwerkzeug eingebracht wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Kunststoffschicht einseitig mit den undurchtränkten Verstärkungsfasern belegt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Kunststoffschicht auf eine entsprechend der Kontur des Formteils außerhalb des Formwerkzeugs vorgeformte Folie aufgebracht wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß als Folie eine mit der Kunststoffschicht belegte Trennfolie in das Formwerkzeug eingebracht und nach dem Aushärten des Formteils vom Laminat abgezogen wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Folie auf dem Laminat als integral mit diesem verbundener Oberflächenbelag belassen wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Formraum des Formwerkzeugs während des Durchtränkungsvorgangs mit Vakuum beaufschlagt und entsprechend der Entlüftung des Geleges bis zum Erreichen der endgültigen Laminatdicke mehr und mehr verkleinert wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Formraum des Formwerkzeugs durch feste, obere und untere Formflächen begrenzt wird, die während des Durchtränkungsvorganges unter Verringerung

5 Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Herstellen eines Faserverbundlaminat-Formteils nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Bei bekannten Verfahren dieser Art werden die Verstärkungsfasern üblicherweise im vorgetränkten Zustand in Form sog. Prepreggewebe in das Formwerkzeug eingelegt und dort unter Druck- und Wärmeeinwirkung ausgehärtet. Bei der Entlüftung der Gewebeschichten im Formraum des Formwerkzeugs wirken jedoch die mit dem Harz vorgetränkten Verstärkungsfasern als Luftsperren, so daß in den Gewebeschichten Lufteinschlüsse zurückgehalten werden, die durch eine stärkere Evakuierung des Formraumes oder eine Erhöhung des Formwerkzeug-Preßdrucks allenfalls verkleinert, aber nicht beseitigt werden können. Die Folge ist ein hoher Lunkeranteil derartiger, im Prepreg-Laminierverfahren hergestellter Formteile.

Beim Naßlaminierverfahren, wo die Verstärkungsfasern schichtweise im Formraum mit der flüssigen Harzkomponente z.B. mit Hilfe von Hand-Laminierwalzen durchtränkt werden, sowie beim Vakuum-Injektionsverfahren, bei dem die Faserlagen trocken in das Formwerkzeug eingeschlossen werden und die Harzmatrix erst nachträglich im flüssigen Zustand im Injektionswege in den Formraum eingebracht wird, stellt sich ebenfalls das Problem von örtlichen Fehlerstellen im fertigen Laminat, sei es daß aufgrund der Sperrwirkung bereits durchtränkter Faserzonen wiederum Lufteinschlüsse im Laminat verbleiben oder daß die Faserlagen, bedingt durch lange Harzflußwege, stellenweise eine unzureichende Durchtränkung aufweisen, vor allem wenn mit diesen bekannten Verfahren flächiggestreckte Formteile mit einem hohen Faservolumenanteil hergestellt werden.

Demgegenüber ist es Aufgabe der Erfindung, das Verfahren der beanspruchten Art so auszubilden, daß selbst für flächige Formteile mit einem hohen Faservolumenanteil die Lunkerbildung weitgehend beseitigt und auf einfache Weise eine gleichmäßig hohe Durchtränkung des Fasermaterials garantiert wird.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch das im Anspruch 1 gekennzeichnete Verfahren gelöst.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist hinsichtlich des Arbeits-, Werkzeug-, Lagerhaltungs- und Materialaufwands äußerst kostengünstig, garantiert eine lange, gute Verarbeitbarkeit der Ausgangsmaterialien mit geringem, einfach zu beseitigendem Materialabfall, verkürzt die Werkzeugbelegungszeiten, vermindert die arbeitsphysiologische Gefährdung der Werker und gewährleistet vor allem selbst bei einem hohen Faservolumenanteil des Formteils eine hohe Laminatqualität, mit der Besonderheit, daß sich die Harzschicht im Formwerkzeug nach der Erwärmung als Harzschmelze vollflächig über die gesamte, zunächst noch undurchtränkte, durch den Vorverdichtungsdruck jedoch im innigen Faserkontakt gehaltene, aber noch luftdurchlässige Faserschichtung erstreckt und diese — unter der Wirkung des Vorverdichtungsdrucks und des Saug- und Kapillareffekts der Faserschichtung — auf breiter Front und auf kürzestem Wege, nämlich quer zur Flächenerstreckung der Faserschichtung, durchdringt wobei die in der Faserschichtung vorhandene Luft von der gleichförmig fortschreitenden Harzfront ausgeschoben und aus dem Formraum entfernt wird, ohne daß die Entlüftung und

vollständige Durchtränkung der Faserschichtung durch bereits vorgetränkte Faserzonen behindert wird. Auf diese Weise wird erfindungsgemäß selbst für dünnwandige Formteile mit einem hohen Faservolumenanteil eine einwandfreie, gleichmäßig und weitgehend ohne Lunkerbildung durchtränkte Laminatstruktur erreicht.

In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung wird gemäß Anspruch 2 die Harzschicht mit einer sich ändernden Schichtdicke ausgebildet, um auch für Formteile mit ungleichförmiger Harzverteilung, also etwa solche mit einer örtlich aufgedickten Laminatstruktur, während des Durchtränkungsvorganges einen Harzfluß auf kürzestem Wege, also in Dickenrichtung der Faserschichtung, sicherzustellen. In weiterer, fertigungstechnischer Vereinfachung wird die Harzschicht gemäß Anspruch 3 vorzugsweise außerhalb des Formwerkzeugs vorgeformt, und zwar gemäß Anspruch 4 zweckmäßigerweise derart, daß das gesamte Gelege, also die Harzschicht und die undurchtränkte Faserschichtung, als Vorformling ausgebildet wird.

In besonders bevorzugter Weise wird die Harzschicht gemäß Anspruch 5 einseitig mit der undurchtränkten Faserschichtung belegt, wodurch ein guter Wärmeübergang von den zum Schmelzen der Harzschicht beheizten Formwänden des Formwerkzeugs an die daran flächig anliegende Harzschichtoberfläche erreicht wird, mit dem weiteren Vorteil, daß die Harzschicht gemäß Anspruch 6 auf fertigungstechnisch einfache Weise auf eine vorgeformte, zum Haftschutz zwischen Formwerkzeug und Laminat ohnehin benötigte Folie aufgebracht, z.B. aufgesprüht und dann mit dieser als Träger in das Formwerkzeug eingelegt werden kann. Diese Folie wird entweder gemäß Anspruch 7 als Trennfolie nach dem Aushärten des Laminats von diesem abgezogen oder besteht, falls das Laminat mit einer Außenhaut versehen sein soll, aus der Außenhaut selbst, die im Formwerkzeug einen integral mit dem Laminat verbundenen Oberflächenbelag bildet.

Zur Unterstützung des Durchtränkungs- und Entlüftungsvorgangs empfiehlt es sich gemäß Anspruch 9, den Formraum des Formwerkzeugs mit Vakuum zumindest solange zu beaufschlagen, bis der Durchtränkungsvorgang, bei dem sich der Formraum entsprechend dem fortschreitenden Eindringen der Harzschicht in die Verstärkungsfasern zunehmend verkleinert, abgeschlossen ist, wobei in diesem Fall der Formraum gemäß Anspruch 10 zweckmäßigerweise durch feste, während des Durchtränkungsvorgangs unter Aufrechterhaltung des Vorverdichtungsdrucks und Verringerung der Formspaltbreite zusammenfahrbare Formflächen begrenzt wird.

Die Erfindung wird nunmehr anhand eines Ausführungsbeispiels in Verbindung mit den Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen in schematischer Darstellung und mit der Deutlichkeit halber stark übertriebenen Wandstärkenverhältnissen:

Fig. 1 einen Schnitt eines Faserverbundlaminats-Formteils;

Fig. 2a, b eine vorgeformte, mit der Harzschicht versehene Folie und, im vergrößerten Maßstab, deren Teilausschnitt B;

Fig. 3a, b ein als Vorformling ausgebildetes Gelege sowie den Ausschnitt B des Geleges in vergrößertem Maßstab; und

Fig. 4a, b das im Formwerkzeug eingeschlossene Gelege zu Beginn des Durchtränkungsvorgangs sowie den Ausschnitt B des Geleges.

Das in Fig. 1 gezeigte, rotationssymmetrische Form-

teil 2 besteht aus einem Faserverbundlaminat, das in der Mitte durch eine zusätzliche Verstärkungslage 4 aufgedickt ist und auf der Außenseite einen Oberflächenbelag 6 in Form einer integral mit dem Laminat verbundenen Deckhautfolie aufweist. Das Formteil 2 hat eine im Vergleich zu seiner Flächenerstreckung geringe Wandstärke, die der Deutlichkeit halber stark vergrößert dargestellt ist, tatsächlich aber nicht mehr als etwa 5 mm beträgt, was einer Faserlagen-Anzahl von etwa 20 entspricht.

Zur Herstellung des Formteils 2 wird zunächst die Deckhautfolie 6, die aus einem hinsichtlich der Warmhärtemperatur des Faserverbundwerkstoffs beständigen Material besteht, entsprechend der Oberflächenkontur des Formteils 2 tiefgezogen und anschließend auf der Innenseite mit der gesamten, für das Faserverbundlaminat benötigten Harzmenge beschichtet (Fig. 2a, b), derart, daß die auf die Folie 6 aufgebrachte Harzschicht 8 eine der Harzverteilung im fertigen Laminat entsprechende Schichtdicke  $d$  aufweist, also im verstärkten Mittelabschnitt 4 des Formteils 2 z.B. auf 1 mm aufgedickt ist. Die Harzschicht 8 befindet sich auf der Folie 6 im zähelastischen, form- und insbesondere wandstärkenhaltigen Zustand und wird etwa durch Aufsprühen der durch Erwärmung dünnflüssigen Harzkomponente mit Hilfe eines Sprühwerkzeugs 10 auf die Folie 6 aufgebracht und auf dieser durch Abkühlung formstabilisiert.

Wie die Fig. 3a, b zeigen, wird die Harzschicht 8 anschließend einseitig auf der der Folie 6 abgekehrten, freien Harzschichtoberfläche mit einer Faserschichtung 12 belegt, die aus undurchtränkten Faserlagen 14 besteht, welche auf der Harzschicht 8 in der für das Laminat vorgegebenen Faserorientierung und Lagen-Anzahl, also im Laminat-Mittelabschnitt 4 mit einer oder mehreren Zusatzlagen 16, fixiert werden.

Das auf diese Weise als Vorformling ausgebildete Gelege 18 aus undurchtränkter Faserschichtung 12 und Harzschicht 8 einschließlich Deckhautfolie 6 wird dann in ein Form- und Preßwerkzeug 20 (Fig. 4a) eingeschlossen, das aus einem oberen und einem unteren Formstempel 22 bzw. 24 mit jeweils festen, den Formraum 26 begrenzenden Formflächen besteht. Nunmehr wird das Gelege 18 durch Druckbeaufschlagung der Formstempel 22, 24 unter einen Vorverdichtungsdruck  $P$  von typischer Weise etwa 0,1 bar gesetzt, durch den die Faserschichtung 12 entlüftet und die Faserlagen 14, 16 in engen Faserkontakt gebracht werden (Fig. 4b), während sich die Harzschicht 8 weiterhin im zähelastischen Zustand befindet. Zur Unterstützung des Entlüftungsvorgangs wird der Formraum 26 zusätzlich im Bereich seines Außenrandes und evtl. über in Fig. 4a gestrichelt dargestellte Entlüftungsbohrungen mit Vakuum  $V$  beaufschlagt.

Durch Aufheizen des Formwerkzeugs 20 wird sodann die Harzschicht 8 auf den dünnflüssigen Zustand (bei etwa 80°C.) erwärmt, und die Harzschmelze durchdringt die Faserschichtung 12 unter der Wirkung des fortdauernden Vorverdichtungsdrucks  $P$  und der Saug- und Kapillarwirkung der undurchtränkten Verstärkungsfasern als großflächige, gleichförmig fortschreitende Harzfront auf kürzestem Wege, d.h. die örtliche Harzfließrichtung  $R$  verläuft quer zur Flächenerstreckung der Faserschichtung 12, also in Dickenrichtung des Laminats, wodurch eine gleichmäßige Durchtränkung der Verstärkungsfasern erreicht und eine Lunkerbildung weitgehend verhindert wird. Im Laufe des Durchtränkungsvorganges, der je nach Schichtdicke der Fa-

erschichtung 12 etwa 5 bis 10 min. dauert, bleibt das Formwerkzeug 20 mit dem Vorverdichtungsdruck  $P$  beaufschlagt, so daß die Formflächen der Stempel 22, 24 unter Verringerung der Spaltbreite des Formraumes 26, wenn auch nur geringfügig, nämlich etwa um die Dicke 5 der Harzschicht 8, zusammenfahren.

Das auf diese Weise mit der endgültigen Laminatstruktur hergestellte Formteil wird entweder im Formwerkzeug 20 belassen und dort nach weiterer Erwärmung auf die Warmhärtemperatur (typischerweise etwa 120°C) und Steigerung des Formwerkzeugdrucks auf den vollen Verdichtungsdruck (z.B. 5 bar) vollständig ausgehärtet oder dem Formwerkzeug 20 nach Abkühlung auf ein die zähelastische Harzverfestigung bewirkendes Temperaturniveau entnommen und dann, 15 vorzugsweise im gekühlten Zustand, bis zur vollständigen Aushärtung des Laminats gelagert.

Anstelle der Deckhautfolie 6 kann auch eine Trennfolie Verwendung finden, die einen Haftschutz zwischen dem Laminat und den Formraum-Begrenzungswänden 20 bildet und später wieder vom Laminat abgezogen wird.

Das beschriebene Verfahren ist nicht nur für Faser-verbundlaminat mit einer warmhärtenden Harzmatrix anwendbar, sondern die Matrix kann auch aus einem Thermoplasten bestehen. 25

30

35

40

45

50

55

60

65

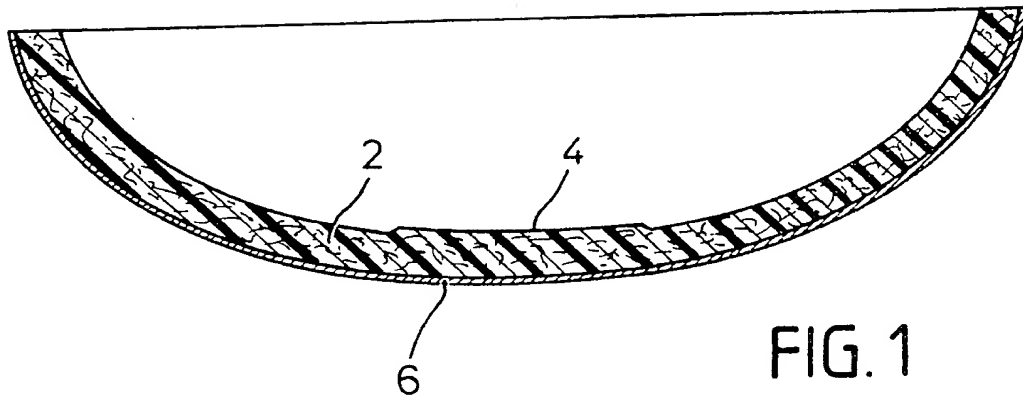


FIG. 1

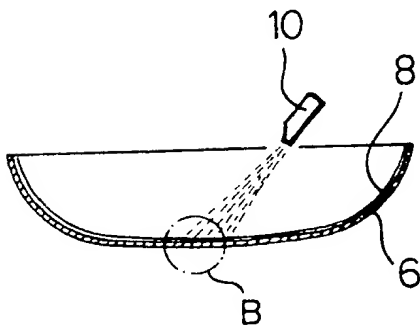


FIG. 2a

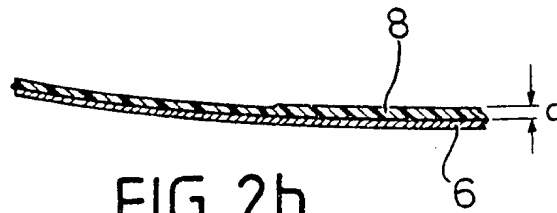


FIG. 2b

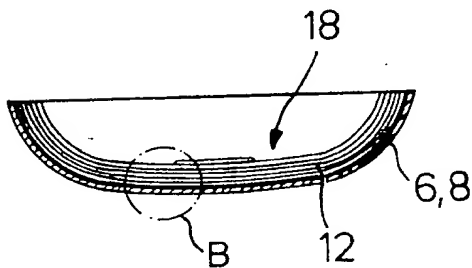


FIG. 3a

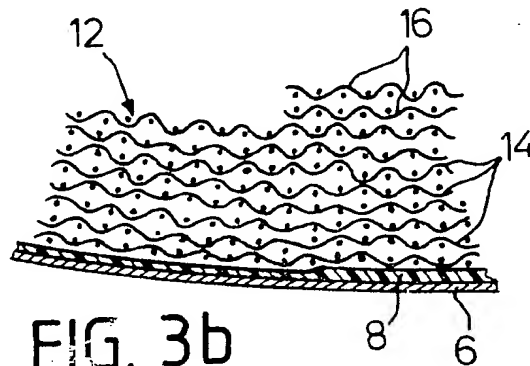


FIG. 3b

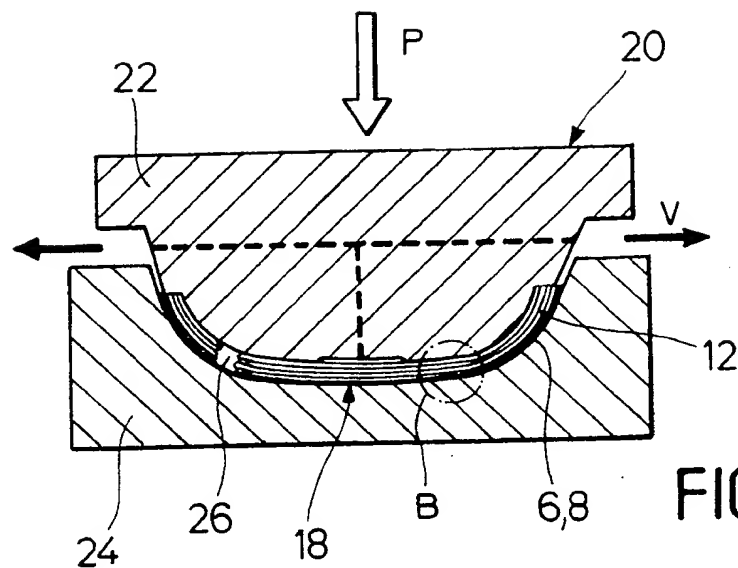


FIG. 4a

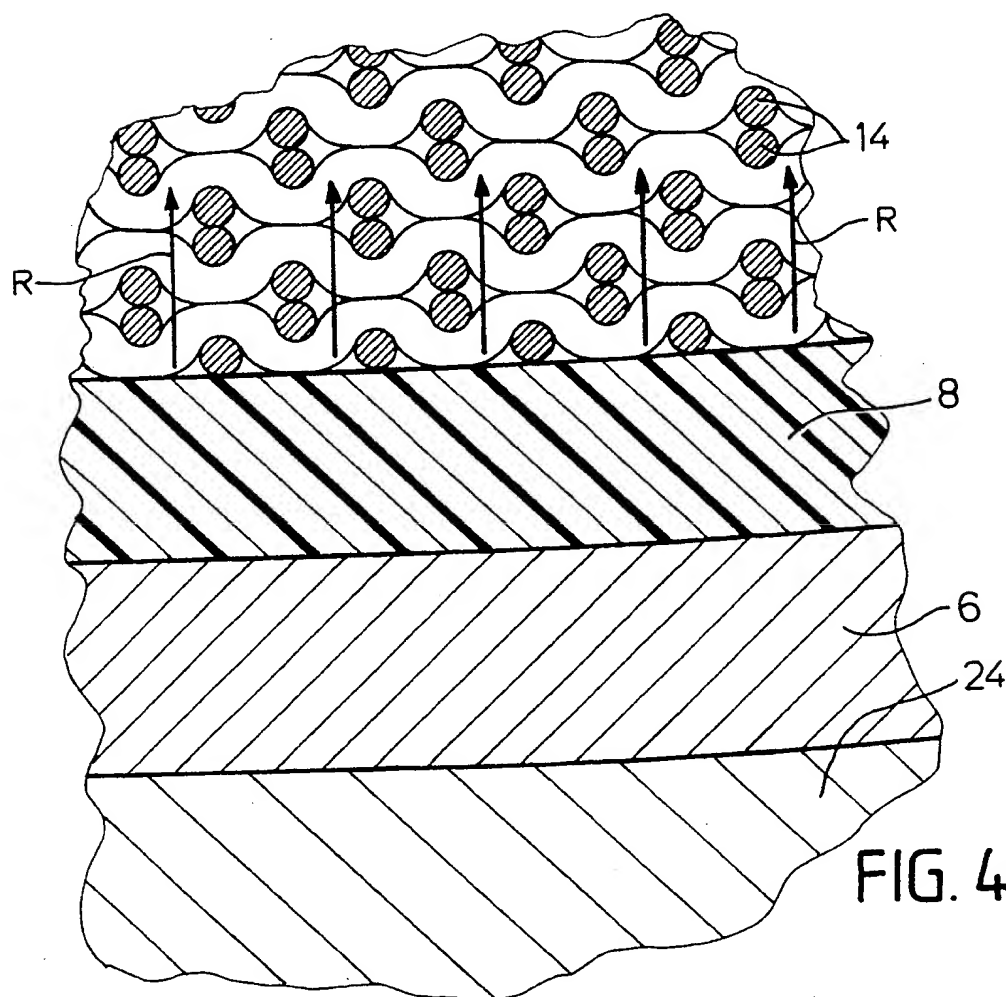


FIG. 4b